

JFW

TRANSMITTAL LETTER
(General - Patent Pending)

Docket No.
2916A

In Re Application Of: **SCHIEMANN, J.**

Serial No. 10/814,515	Filing Date 03/31/2004	Examiner	Group Art Unit
---------------------------------	----------------------------------	----------	----------------

Title: **METHOD FOR OPERATING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

TO THE COMMISSIONER FOR PATENTS:

Transmitted herewith is:


CERTIFIED COPY OF THE PRIORITY DOCUMENT 103 14 677.6

in the above identified application.

- ☒ No additional fee is required.
- ☐ A check in the amount of _____ is attached.
- ☐ The Director is hereby authorized to charge and credit Deposit Account No. _____ as described below.
 - ☐ Charge the amount of _____
 - ☐ Credit any overpayment.
 - ☐ Charge any additional fee required.


Signature

Dated: **JUNE 17, 2004**

I certify that this document and fee is being deposited on JUNE 17, 2004] with the U.S. Postal Service as first class mail under 37 C.F.R. 1.8 and is addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.	
 <i>Signature of Person Mailing Correspondence</i>	
MICHAEL J. STRIKER <i>Typed or Printed Name of Person Mailing Correspondence</i>	

CC:

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 14 677.6

Anmeldetag: 01. April 2003

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine

IPC: F 02 D 41/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. April 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurks

5 25.03.2003 KNA/STR

Robert Bosch GmbH
70442 Stuttgart

10

Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine

Stand der Technik

15

Die Erfindung betrifft zunächst ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, bei der Verbrennungsabgas nach Beendigung eines Arbeitstaktes über mindestens ein durch einen Aktor betätigtes Auslassventil aus mindestens einem Brennraum abströmt, bei dem ein Gasdruck bestimmt wird, welcher während des Arbeitstaktes im Brennraum herrscht.

20

Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogramm, ein elektrisches Speichermedium für ein Steuer- und/oder Regelgerät einer Brennkraftmaschine, und ein Steuer- und/oder Regelgerät für eine Brennkraftmaschine.

25

Ein Verfahren der eingangs genannten Art ist vom Markt her bekannt. Bei diesem wird der während eines Arbeitstaktes in einem Brennraum herrschende Gasdruck von einem Sensor, beispielsweise einem Piezogeber, direkt erfasst. Alternativ ist auch bekannt, einen mittleren Gasdruck im Brennraum während des Arbeitstaktes auf der Basis von Drehungleichförmigkeiten einer Kurbelwelle, also Schwankungen der Drehgeschwindigkeit der Kurbelwelle

30

35

innerhalb einer Kurbelwellenumdrehung, abzuschätzen. Die Kenntnis des Gasdrucks während des Arbeitstakts im Brennraum ermöglicht die Bestimmung des entsprechenden Drehmomentbeitrags der Verbrennung beziehungsweise der Lage des Verbrennungsschwerpunkts. Auch eine Beurteilung der Qualität der Verbrennung (beispielsweise unvollständige Verbrennung, Verbrennungsaussetzer, und so weiter) kann in Kenntnis des Gasdrucks im Brennraum durchgeführt werden. Dies alles ermöglicht es, die Brennkraftmaschine mit möglichst geringem Kraftstoffeinsatz bei geringer Emissionsabgabe und guter Laufruhe zu betreiben.

De vorliegende Endung hat die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass die Brennkraftmaschine noch ruhiger läuft und gleichzeitig preiswert baut.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass ein Auslassventil mit variablem Öffnungshub verwendet wird, dass ein aktueller Öffnungshub des Auslassventils ermittelt wird, dass aktuelle Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine ermittelt werden, welche diesen Öffnungshub beeinflussen, und dass auf der Basis des ermittelten aktuellen Öffnungshubs des Auslassventils und der ermittelten aktuellen Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine ein aktueller Gasdruck in dem Brennraum zum Zeitpunkt des Öffnens des Auslassventils wenigstens näherungsweise ermittelt wird.

Vorteile der Erfindung

Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine direkte Messung des Gasdrucks im Brennraum während des Arbeitstaktes nicht mehr erforderlich. Die Installation eines entsprechenden Sensors, die vergleichsweise aufwändig

ist, und der entsprechende und vergleichsweise teure Sensor können daher entfallen. Entsprechend werden bei der Herstellung der Brennkraftmaschine Kosten gespart. Der Wert des mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelten
5 aktuellen Gasdrucks ist dabei sehr genau, jedenfalls genauer, als dies durch eine Abschätzung auf der Basis von Drehungleichförmigkeiten der Kurbelwelle möglich ist.

Dabei macht sich die Erfindung die Tatsache zunutze, dass
10 bei einem von einem Aktor, beispielsweise einem Hydraulikzylinder, betätigten Auslassventil, welches also nicht von einer Nockenwelle angesteuert wird, der Öffnungshub und der der Öffnungsbewegung des Auslassventils entgegenwirkende Gasdruck im Brennraum miteinander
15 verknüpft sind. Zwar wird der Öffnungshub eines beispielsweise hydraulisch betätigten Auslassventils auch noch von anderen Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine beeinflusst; wenn diese jedoch, wie dies erfindungsgemäß vorgeschlagen wird, bekannt sind beziehungsweise ermittelt
20 werden, können diese berücksichtigt werden. So kann der aktuelle Gasdruck in dem Brennraum zum Zeitpunkt des Öffnens des Auslassventils aus dem aktuellen Öffnungshub mit großer Präzision ermittelt werden.

25 Wenn der ermittelte aktuelle Gasdruck mit dem tatsächlichen Gasdruck jedoch gut übereinstimmt, kann das entsprechende zylinderindividuelle und bei einer Verbrennung in einem Arbeitstakt erzeugte Drehmoment sehr genau bestimmt werden, was die genaue Steuerung und Regelung der
30 Brennkraftmaschine insgesamt vereinfacht. Vor allem der Kraftstoffverbrauch, die Schadstoffemissionen, und die Laufruhe können so verbessert werden.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in
35 Unteransprüchen angegeben.

Besonders bevorzugt ist es, wenn auf der Basis von Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine für einen künftigen Arbeitstakt ein voraussichtlicher Gasdruck in dem Brennraum ermittelt wird, wenn, nachdem dieser Arbeitstakt durchgeführt worden ist, der für diesen Arbeitstakt ermittelte voraussichtliche Gasdruck mit dem für diesen Arbeitstakt ermittelten aktuellen Gasdruck verglichen wird, und wenn abhängig vom Ergebnis des Vergleichs ein Verfahren, mittels dem der voraussichtliche Gasdruck ermittelt wird, angepasst wird. Die Abschätzung eines voraussichtlichen Gasdrucks, welcher während eines künftigen Arbeitstaktes in einem Brennraum herrscht, ist erforderlich, um die entsprechenden Ansteuerparameter für die Ansteuerung des beispielsweise hydraulisch betätigten Auslassventils festzulegen. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Abschätzung dieses voraussichtlichen Gasdrucks genauer und somit die Präzision der Ansteuerung des Auslassventils verbessert.

Dabei ist es auch möglich, dass auf der Basis von Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine für einen künftigen Arbeitstakt ein voraussichtlicher Gasdruck in dem Brennraum ermittelt wird, dass, nachdem dieser Arbeitstakt durchgeführt worden ist, der für diesen Arbeitstakt ermittelte voraussichtliche Gasdruck mit dem für diesen Arbeitstakt ermittelten aktuellen Gasdruck verglichen wird, und dass abhängig vom Ergebnis des Vergleichs eine Information ausgegeben wird. So ist es beispielsweise denkbar, dass dann, wenn die Differenz zwischen dem voraussichtlichen Gasdruck und dem aktuellen Gasdruck ein bestimmtes Maß übersteigt, ein Eintrag in einen Fehlerspeicher erfolgt oder ein Signal an einen Benutzer der Brennkraftmaschine ausgegeben wird. Auf diese Weise können Fehlerzustände, beispielsweise

Verbrennungsaussetzer, erkannt beziehungsweise dem Benutzer signalisiert werden.

5 Eine einfach zu programmierende Möglichkeit, um den aktuellen Gasdruck zu ermitteln, ist die folgende Formel:

$$p_{aoact} = -\frac{C_1}{2 * C_2} + \sqrt{\left(\frac{C_1}{2 * C_2}\right)^2 + \frac{h_{act} - C_0}{C_2}}$$

wobei C_0 , C_1 , und C_2 Koeffizienten sind, welche wenigstens zum Teil von den Öffnungshub des Auslassventils beeinflussenden Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine abhängen, und wobei h_{act} der ermittelte Öffnungshub ist. Die Wurzelfunktion kann programmtechnisch beispielsweise in tabellarischer Form, d.h. als Kennlinie, oder entsprechend
15 einer Näherungsformel, beispielsweise einer Näherung als Polynom, dargestellt werden.

Als vorteilhafte Vereinfachung wird vorgeschlagen, die angegebene allgemeine Formel näherungsweise durch ein
20 Polynom zweiter Ordnung darzustellen, da der angegebene Zusammenhang in typischen Anwendungsfällen mit hoher Genauigkeit quadratisch approximierbar ist. Die vereinfachte Formel zur Bestimmung des aktuellen Gasdrucks lautet dann:

25

$$p_{aoact} = C_1 * (h_{act} - C_0) + C_2 * (h_{act} - C_0)^2$$

Diese Formel hat den Vorteil, dass sie besonders einfach zu programmieren ist und dass ein entsprechendes Programmstück
30 sehr wenig Rechenzeit benötigt. Die in dieser Formel auftretenden neuen Koeffizienten sind hier der Einfachheit halber ebenfalls als C_0 , C_1 und C_2 bezeichnet. Es ist möglich und gegebenenfalls vorteilhaft, die neuen Koeffizienten in Abhängigkeit der Koeffizienten des ersten

genannten Formel ausdrucks darzustellen bzw. zu berechnen. Ein solcher Zusammenhang lässt sich ebenfalls sehr einfach programmieren und insbesondere dann vorteilhaft anwenden, wenn die ersten genannten Koeffizienten bereits bekannt
5 sind und/oder auf einfache Weise berechnet werden können.

In Weiterbildung hierzu wird vorgeschlagen, dass mindestens einer der Koeffizienten C_0 , C_1 und C_2 mittels eines Polynomausdrucks mit linearen und quadratischen Termen
10 bestimmt wird, in welche die den Öffnungshub beeinflussenden Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine einfließen. Auch dies ist einfach zu programmieren und benötigt nur einen geringen Speicherplatz. Gegebenenfalls kann der Koeffizient C_2 auch einfach durch eine Konstante
15 mit negativem Wert dargestellt werden.

Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, dass mindestens einer der Koeffizienten C_0 , C_1 , und C_2 mittels mindestens eines Kennfelds bestimmt wird, in welches
20 Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine einfließen. Die Koeffizienten C_0 , C_1 , und C_2 können auf diese Weise mit sehr hoher Präzision für beliebige Betriebszustände der Brennkraftmaschine ermittelt werden.

Besonders gute Ergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens werden erzielt, wenn die Betriebsgrößen eine für den Ventilhub maßgebliche Ansteuerzeit einer Steuereinrichtung des Auslassventils, eine Drehzahl einer Kurbelwelle, eine Winkelstellung der Kurbelwelle zum Zeitpunkt des Öffnens
25 des Auslassventils, einen mittleren Druck des Abgases stromabwärts vom Auslassventil zum Zeitpunkt des Öffnens des Auslassventils, eine Temperatur eines Hydraulikfluids, mit dem das Auslassventil betätigt wird, einen Druck dieses Hydraulikfluids, und/oder eine Masse eines im Brennraum
30 eingeschlossenen Arbeitsgases umfassen. Dabei gilt, dass
35

das Ergebnis des erfindungsgemäßen Verfahrens umso präziser ist, je mehr Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine bei der Bestimmung des Gasdrucks im Brennraum aus dem Öffnungshub des Auslassventils berücksichtigt werden.

5

Bei sehr hohen Anforderungen an die Genauigkeit des Verfahrens kann es vorteilhaft sein, zusätzlich auch die Masse des Gases im Brennraum als weitere Betriebsgröße in die erfindungsgemäße Berechnung des Gasdrucks

10

einzubeziehen. Auf diese Weise wird auch ein Einfluss der Gastemperatur berücksichtigt. Die Verwendung der Gasmasse anstelle der Gastemperatur stellt dabei eine besonders bevorzugte Lösung dar, da die Gasmasse in typischen Fällen ohnehin im Zusammenhang mit der Steuerung der

15

Brennkraftmaschine ermittelt wird bzw. ansonsten leicht aus anderen bekannten Größen berechenbar ist.

Vorgeschlagen wird auch, dass der Öffnungshub des Auslassventils mittels eines Hubsensors erfasst wird. Ein solcher kann relativ einfach platziert werden, da er nicht unmittelbar im oder am Brennraum, sondern beispielsweise in der Nähe eines Ventilstößels des Auslassventils angeordnet sein kann. An einer solchen Stelle sind auch die Temperaturbelastungen geringer, so dass ein vergleichsweise preiswerter Sensor verwendet werden kann. Wird ein Hubsensor verwendet, ist der Öffnungshub mit großer Genauigkeit bekannt, was wiederum der Genauigkeit bei der Bestimmung des aktuellen Gasdrucks zugute kommt.

20

25

30

Möglich ist aber auch, dass der Öffnungshub des Auslassventils aus der für den entsprechenden Schließvorgang erforderlichen Zeit ermittelt wird. Diese Zeit kann wiederum aus dem Beginn der Ansteuerung des Aktors bestimmt werden, durch welche der Schließvorgang des Auslassventils initiiert wird, sowie dem Ende des

35

Schließvorgangs, das beispielsweise durch den beim Auftreffen des Auslassventils im Ventilsitz ausgelösten Körperschall detektiert werden kann. Dieser Schall kann auch bei mehrzylindrigen Brennkraftmaschinen durch einen
5 einzigen Sensor, beispielsweise einen ohnehin vorhandenen Klopfsensor, erfasst werden. Bei dieser Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden also Kosten gespart.

Bei einem Computerprogramm wird die eingangs gestellte
10 Aufgabe gelöst, indem es zur Durchführung des Verfahrens der obigen Art programmiert ist. Bei einem elektrischen Speichermedium wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass auf ihm ein Computerprogramm der obigen Art abgespeichert ist. Bei einem Steuer- und/oder Regelgerät für eine
15 Brennkraftmaschine wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass es zur Anwendung in einem Verfahren der obigen Art programmiert ist.

20 Zeichnung

Nachfolgend wird ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung unter
25 Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung näher erläutert.

In der Zeichnung zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Brennkraftmaschine mit einem Brennraum und einem
30 hydraulisch betätigten Auslassventil;

Figur 2 ein Diagramm, in dem ein Hub des Auslassventils von Figur 1 über einem Gasdruck im Brennraum von Figur 1 bei verschiedenen Ansteuerzeiten des
35 Auslassventils auftragen ist; und

Figur 3 ein Flussdiagramm, welches ein Verfahren zum Betreiben der Brennkraftmaschine von Figur 1 zeigt.

5

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Figur 1 trägt eine Brennkraftmaschine insgesamt das Bezugszeichen 10. Sie dient vorliegend zum Antrieb eines Kraftfahrzeugs, welches in Figur 1 nicht dargestellt ist. Bei der Brennkraftmaschine 10 handelt es sich um eine Viertakt-Brennkraftmaschine mit mehreren Zylindern, von denen in Figur 1 jedoch nur einer dargestellt ist, welcher das Bezugszeichen 12 trägt.

Zu dem Zylinder 12 gehört ein Brennraum 14, welcher bereichsweise von einem hin- und herbeweglichen Kolben 16 begrenzt wird. Über ein Pleuel 18 arbeitet der Kolben auf eine nur symbolisch dargestellte Kurbelwelle 20, deren Winkelstellung von einem Sensor 21 erfasst wird. Verbrennungsluft gelangt in den Brennraum 14 über einen Einlasskanal 22 und ein hydraulisch betätigtes Einlassventil 24. Die Menge der über den Einlasskanal 22 in den Brennraum 14 strömenden Frischluft wird von einem Sensor 26 erfasst. Bei diesem handelt es sich um einen Heißfilm-Luftmassenmesser, welcher auch als "HFM-Sensor" bezeichnet wird.

Kraftstoff gelangt in den Brennraum 14 direkt über einen Injektor 28. Dieser wird von einem Kraftstoffsystem 30 gespeist. Ein im Brennraum 14 vorhandenes Kraftstoff-Luft-Gemisch wird von einer Zündkerze 32 entzündet, welche von einem Zündsystem 34 gespeist wird. Bei der Verbrennung im Brennraum 14 entstehende Verbrennungsabgase werden über ein

hydraulisch betätigtes Auslassventil 36 in einen Auslasskanal 38 abgeleitet. Der Öffnungshub eines in Figur 1 nicht sichtbaren Ventilelements des Auslassventils 36 wird dabei von einem Hubsensor 40 erfasst. Die Brennkraftmaschine 10 hat also keine Nockenwelle zur Ansteuerung der Ventile 24 und 36.

Die hydraulische Betätigung des Auslassventils 36 erfolgt mittels Hydraulikleitungen 42 und 44, welche das Auslassventil 36 bzw. eine ihm zugeordnete hydraulische Betätigungseinrichtung (nicht sichtbar) mit einer hydraulischen Steuereinrichtung 46 verbinden. Wesentliche Elemente dieser hydraulischen Steuereinrichtung sind schnell schaltende Hydraulikventile (nicht dargestellt), die den Öffnungs- und Schließvorgang des Auslassventils 36 steuern. Über Sensoren 48 und 50 werden die Temperatur und der Druck des Hydraulikfluids erfasst, mit dem das Auslassventil 36 angesteuert wird. Das Einlassventil 24 wird analog betätigt.

Dabei können in einer tatsächlichen Ausführung des Systems einzelne Elemente oder Teilsysteme auch anders zusammengefasst sein als es in der schematischen Darstellung der Fig. 1 gezeigt ist. Beispielsweise können die in der Zeichnung dargestellten Einheiten 36 und 46 ganz oder teilweise in einer baulich integrierten Komponente zusammengefasst sein.

Der Betrieb der Brennkraftmaschine 10 wird von einem Steuer- und Regelgerät 52 gesteuert beziehungsweise geregelt. Dieses erhält Eingangssignale unter anderem vom HFM-Sensor 26, vom Stellungsgeber 21 der Kurbelwelle 20, vom Hubsensor 40, und vom Temperatursensor 48 und dem Drucksensor 50. Es steuert unter anderem das

Kraftstoffsystem 30, das Zündsystem 34, und die hydraulische Steuereinrichtung 46 des Auslassventils 36 an.

5 Dazu berechnet das Steuer- und Regelgerät 52 auf der Basis der Eingangssignale auch weitere Betriebsgrößen wie beispielsweise eine Drehzahl n_{mot} der Kurbelwelle 20, einen Abgasdruck p_{abg} im Auslasskanal 38, und andere.

10 Bei der in Figur 1 dargestellten Brennkraftmaschine 10 können der Öffnungshub des Einlassventils 24 ebenso wie jener bzw. jene des Auslassventils 36 individuell an den jeweiligen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine 10 angepasst werden. Hierzu wird ein gewünschter Sollhub h_{sol} in eine Ansteuerzeit t_m eines elektromagnetischen
15 Schaltventils innerhalb der hydraulischen Steuereinrichtung 46 umgerechnet.

Bei dieser Umrechnung werden wesentliche Einflussgrößen des hubbestimmenden Stellvorgangs und die bei diesem
20 Stellvorgang wirksam werdenden Kräfte berücksichtigt. Zu diesen Einflussgrößen gehören Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 10 beziehungsweise der hydraulischen Steuereinrichtung 46, beispielsweise eine Temperatur T_{oil} des Hydraulikfluids, welche vom Temperatursensor 48 erfasst wird, ein Druck P_{oil} des gleichen Hydraulikfluids, welcher
25 vom Drucksensor 50 erfasst wird, eine Drehzahl n_{mot} der Kurbelwelle 20, welche vom Stellungsgeber 21 erfasst wird, sowie die auf das Auslassventil 36 wirkenden Kräfte aufgrund des im Brennraum 14 zu Beginn des Öffnungsvorgangs
30 herrschenden Gasdrucks. Diese werden wiederum aus der Drehzahl n_{mot} der Kurbelwelle 20, der Kurbelwellenstellung w_{ao} zum Zeitpunkt des Öffnens des Auslassventils 36, dem zum Zeitpunkt des Öffnens vorliegenden Abgasdruck p_{abg} , und dem zum Zeitpunkt des Öffnens im Brennraum 14 herrschenden
35 Gasdruck p_{ao} ermittelt.

Da zu dem Zeitpunkt, zu dem die Ansteuerzeit t_m festgelegt werden muss, der Gasdruck im Brennraum 14, welcher zu Beginn des Öffnungsvorgangs des Auslassventils 36 herrschen wird, noch nicht bekannt ist, wird ein entsprechender Gasdruck p_{aopred} vorhergesagt beziehungsweise geschätzt. Diese Schätzung geht dabei von für das betreffende Arbeitsspiel eingestellten Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 10 aus, wie beispielsweise einer Luftmasse, einer Restgasmasse, einer Kraftstoffmasse, und gegebenenfalls einem Zündwinkel und weiteren Parametern. Die Luftmasse wird beispielsweise über den HFM-Sensor 26 bestimmt. Auf diese Weise ergibt sich der in der folgenden Gleichung 1 angegebene Zusammenhang:

$$t_m = \text{func_tm} (h, T_{oil}, P_{oil}, n_{mot}, w_{ao}, p_{abg}, p_{ao}) \quad (1)$$

mit $h = h_{sol}$ und $p_{ao} = p_{aopred}$

Für die Steuerung und Regelung des Betriebs der Brennkraftmaschine 10 ist die Kenntnis des tatsächlichen, also des aktuellen Gasdrucks im Brennraum 14 am Ende eines Arbeitstakts sehr wichtig. Um den aktuellen Gasdruck im Brennraum 14 am Ende eines Arbeitstakts zu bestimmen, wird der durch Gleichung 1 dargestellte Zusammenhang bezüglich der Zuordnung der Ansteuerzeit t_m und des Hubs h umgekehrt. Hieraus ergibt sich die folgende Gleichung 2:

$$h = \text{func_hub} (t_m, T_{oil}, P_{oil}, n_{mot}, w_{ao}, p_{abg}, p_{ao}) \quad (2)$$

Die Funktion func_hub beschreibt allgemein die Abhängigkeit des resultierenden Ventilhubs h von der Ansteuerzeit t_m und den Betriebsgrößen T_{oil} , P_{oil} , n_{mot} , w_{ao} usw. Dieser Zusammenhang kann beispielsweise empirisch durch Versuche an Motorprüfständen bei unterschiedlichen

Betriebsbedingungen bestimmt werden. Wenn man dabei speziell die Abhängigkeit des Hubs h vom Gasdruck p_{ao} auswertet, zeigt sich, dass man diesen Zusammenhang in sehr guter Näherung mittels eines Polynoms zweiter Ordnung darstellen kann.

Dies ist aus der beispielhaften Kurvendarstellung in Figur 2 gut zu erkennen. Dort ist der Ventilhub h als Funktion des Gasdrucks p_{ao} für drei Werte der Ansteuerzeit t_m bei festem Winkel w_{ao} und festen Werten der Betriebsgrößen P_{oil} , T_{oil} , n_{mot} und p_{abg} aufgetragen. Die Kurven verlaufen nahezu linear mit einer negativen Steigung und einer schwachen Krümmung, die durch einen quadratischen Term in p_{ao} mit kleinem negativem Koeffizienten beschrieben werden kann. Die quadratische Näherung führt zur Gleichung 3:

$$h = C_0 + C_1 \cdot p_{ao} + C_2 \cdot p_{ao}^2 \quad (3)$$

wobei

$$C_0 = \text{func_C0}(t_m, T_{oil}, p_{oil}, n_{mot}, w_{ao}, p_{abg}) \quad (4)$$

$$C_1 = \text{func_C1}(t_m, T_{oil}, p_{oil}, n_{mot}, w_{ao}, p_{abg}) \quad (5)$$

$$C_2 = \text{func_C2}(t_m, T_{oil}, p_{oil}, n_{mot}, w_{ao}, p_{abg}) \quad (6)$$

Im speziellen Fall hängt der Koeffizient C_2 nur in geringem Umfang von den aktuellen Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine ab. Er kann dann in guter Näherung als Konstante angesetzt werden, welche einen negativen Wert hat. Allgemein kann man die Funktionen func_C0 , func_C1 und func_C2 kann man ebenfalls in hinreichend guter Näherung durch Polynome mit linearen und quadratischen Termen ausdrücken. Zur Vereinfachung der Polynome kann es vorteilhaft sein, die Abhängigkeit vom Winkel w_{ao} der Kurbelwelle 20, bei dem das Auslassventil 36 öffnet, durch eine Abhängigkeit von einem Brennraumvolumen V_{br} bei der Winkelstellung w_{ao} zu beschreiben. Auch eine auf die

Winkelstellung der Kurbelwelle 20 bezogene Änderungsgeschwindigkeit des Brennraumvolumens eignet sich zur Vereinfachung des Polynoms. Beide Funktionen können auf einfache Weise z.B. als Kennlinie oder als Polynom in
 5 Abhängigkeit des Winkels ω dargestellt und berechnet werden.

Wenn man das Polynom zweiter Ordnung (obige Gleichung 3) auf einen ermittelten aktuellen Hub h_{act} des Auslassventils
 10 36 und einen entsprechenden aktuellen Gasdruck p_{aoact} bezieht, ergibt sich die unten stehende Gleichung 7:

$$h_{act} = C_0 + C_1 \cdot p_{aoact} + C_2 \cdot p_{aoact}^2 \quad (7)$$

15 Die Auflösung dieses Polynoms zweiter Ordnung nach dem aktuellen Gasdruck p_{aoact} ergibt die unten stehende Gleichung 8:

$$20 \quad p_{aoact} = -\frac{C_1}{2 \cdot C_2} + \sqrt{\left(\frac{C_1}{2 \cdot C_2}\right)^2 + \frac{h_{act} - C_0}{C_2}} \quad (8)$$

Anhand der Gleichung 8 kann in Kenntnis des aktuellen Hubs h_{act} des Auslassventils 36 und verschiedener Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 10, aus denen die Koeffizienten C_1 ,
 25 C_2 , und C_3 ermittelt werden, der aktuelle Gasdruck p_{aoact} am Ende eines Arbeitstaktes des Zylinders 12 bestimmt werden. Ein entsprechendes Verfahren wird nun unter Bezugnahme auf Figur 3 näher erläutert. Das Verfahren ist als Computerprogramm auf einem Speicher 54 des Steuer- und
 30 Regelgeräts 52 abgelegt.

Nach einem Startblock 56 wird in einem Block 58 der aktuelle Öffnungshub h_{act} des Auslassventils 36 im aktuellen Arbeitstakt ermittelt. Hierzu werden die Signale

des Hubsensors 40 verwendet. In Funktionsblöcken 60, 61 und 62 werden Koeffizienten C0, C1 und C2 bestimmt. Dies kann, wie oben erläutert, durch empirisch ermittelte Polynome func_C0, func_C1 und func_C2 geschehen oder beispielsweise auch mittels Kennfeldern. Die Funktionsblöcke 60 bis 62 verwenden dabei die Daten des Stellungsgebers 21 der Kurbelwelle 20, des HFM-Sensors 26, des Hubsensors 40, des Temperatursensors 48, des Drucksensors 50, und gegebenenfalls noch weiterer Sensoren, die in einem Block 63 für den aktuellen Arbeitstakt bereitgestellt werden.

Entsprechend ergeben sich in den Blöcken 64 bis 68 die Koeffizienten C0, C1 und C2. Der ermittelte aktuelle Hub hact sowie die Koeffizienten C0, C1, und C2 werden in einen Funktionsblock 70 eingespeist, in dem entsprechend der obigen Gleichung 8 der aktuelle Gasdruck paoact im Brennraum 14 zum Zeitpunkt des Öffnens des Auslassventils 36 ermittelt wird. Zur Berechnung der Quadratwurzelfunktion kann beispielsweise eine tabellarische Darstellung dieser Funktion als Kennlinie oder eine Darstellung als Polynom verwendet werden.

Vor dem aktuellen Arbeitstakt wurde in einem Block 72 auf der Basis von Betriebsgrößen BG der Brennkraftmaschine ein Gasdruck paopred (Block 72) mittels eines Funktionsblocks 74 für den aktuellen Arbeitstakt vorhergesagt. Zu den Betriebsgrößen BG gehört beispielsweise ein Zündwinkel, eine eingespritzte Kraftstoffmasse, ein Öffnungszeitpunkt des Auslassventils, eine Luftmasse, und so weiter. In 76 wird eine Differenz d zwischen dem vorhergesagten Gasdruck paopred und dem ermittelten aktuellen Gasdruck paoact gebildet. In 78 wird abhängig von der Differenz d die Funktion func_paopred, mittels der im Block 74 der Gasdruck paopred vorhergesagt worden war, angepasst. Ferner erfolgt abhängig von der Differenz d im Block 80 die Ausgabe einer

Information INF. Dies kann beispielsweise einen Eintrag in einen Fehlerspeicher oder ein Warnsignal beinhalten, wenn die Differenz d einen bestimmten Wert überschreitet. Das Verfahren endet im Block 82.

5

In einem alternativen Ausführungsbeispiel wird für die Berechnung von paoact anstelle der Gleichung (8) eine quadratische Näherung des Zusammenhangs von paoact und hact verwendet, die zu folgender Gleichung (9) führt:

10

$$\text{paoact} = C1 \cdot (\text{hact} - C0) + C2 \cdot (\text{hact} - C0)^2 \quad (9)$$



Die Abarbeitung kann dabei im Wesentlichen wie bei dem bereits beschriebenen Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 erfolgen, mit dem Unterschied, dass paoact im Funktionsblock 70 entsprechend der Gleichung (9) ermittelt wird.

15

20

In einem weiteren alternativen Ausführungsbeispiel wird der aktuelle Hub hact des Auslassventils 36 nicht mittels eines Hubsensors, sondern aus der für den Schließvorgang des Auslassventils 36 erforderlichen Zeit ermittelt. Der Beginn des Schließvorgangs kann dabei in guter Näherung mit dem Öffnungszeitpunkt eines Schaltventils der hydraulischen Steuereinrichtung 46 gleichgesetzt werden. Das Ende des Schließvorgangs wiederum kann beispielsweise durch den Schall detektiert werden, der beim Auftreffen des Ventilelements des Auslassventils 36 am entsprechenden Ventilsitz ausgelöst wird.

25

30

Weitere zur Bestimmung des Hubes benötigte Größen wie z.B. eine Verzugszeit des genannten Schaltventils und eine Schließgeschwindigkeit des Auslassventils können mittels Messungen empirisch bestimmt werden. Die entsprechenden Werte können beispielsweise tabellarisch als Kennfelder in

35

Abhängigkeit der Betriebsgrößen Poil und Toil in einem Speicher 54 des Steuer- und Regelgeräts 52 abgelegt werden.

- 5 Ferner sei darauf hingewiesen, dass anhand des ermittelten aktuellen Gasdrucks paoact nicht nur die Ermittlung des vorhergesagten Gasdrucks paopred adaptiert werden kann. Vielmehr kann auch die Steuerung anderer Größen, von denen der ermittelte aktuelle Gasdruck paoact abhängt, beispielsweise die Steuerung eines Zündwinkels, adaptiert
- 10 bzw. verbessert werden. Dies ermöglicht es, die Brennkraftmaschine optimal zu steuern in Bezug auf die vom Fahrer gewünschte Leistung, den Kraftstoffverbrauch, die Abgasqualität und/oder die Laufruhe.
- 15 In dem oben ausführlich beschriebenen Ausführungsbeispiel werden die Einlass- und Auslassventile durch elektrohydraulische Ventilsteller bewegt, die mit hydraulischer Hilfsenergie (Druckkraft) arbeiten. Die Steuerung des Kraftflusses erfolgt dabei elektrisch mittels
- 20 schnell schaltender Hydraulikventile. In alternativen Ausführungen der Erfindung können die Motorventilsteller aber auch nach einem anderen Prinzip arbeiten, solange nur der Ventilhub individuell und vollvariabel eingestellt wird. Z.B. kann anstelle von hydraulischer auch elektrische
- 25 oder pneumatische Hilfsenergie verwendet werden. Die Anwendung der vollvariablen Motorventilsteuerung kann sich auch auf die Auslassventile beschränken, wobei die Einlassventile z.B. konventionell mittels einer Nockenwelle verstellt werden. Des weiteren kann in alternativen
- 30 Ausführungen der Erfindung auch von einer selbstzündenden Brennkraftmaschine und/oder von einer Kraftstoffzuführung im Einlasskanal ausgegangen werden.

5 25.03.2003

Robert Bosch GmbH
70442 Stuttgart

10

Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine (10),
15 bei der Verbrennungsabgas nach Beendigung eines
Arbeitstaktes über mindestens ein durch einen Aktor
betätigtes Auslassventil (36) aus mindestens einem
Brennraum (14) abströmt, bei dem ein Gasdruck bestimmt
wird, welcher während des Arbeitstaktes im Brennraum (14)
20 herrscht, dadurch gekennzeichnet, dass ein aktueller
Öffnungshub (hact) des Auslassventils (36) ermittelt wird
(58), dass aktuelle Betriebsgrößen (tm, Toil, Poil, nmot,
wao, pabg) der Brennkraftmaschine (10) ermittelt werden
(63), welche diesen Öffnungshub (hact) beeinflussen, und
25 dass auf der Basis des ermittelten aktuellen Öffnungshubs
(hact) des Auslassventils (36) und der ermittelten
aktuellen Betriebsgrößen (tm, Toil, Poil, nmot, wao, pabg)
der Brennkraftmaschine (10) ein aktueller Gasdruck (paoact)
in dem Brennraum (14) zum Zeitpunkt des Öffnens des
30 Auslassventils (36) wenigstens näherungsweise ermittelt
wird (70).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
dass auf der Basis von Betriebsgrößen (BG) der
Brennkraftmaschine (10) für einen künftigen Arbeitstakt ein

voraussichtlicher Gasdruck (paopred) in dem Brennraum (14) ermittelt wird (72), dass, nachdem dieser Arbeitstakt durchgeführt worden ist, der für diesen Arbeitstakt ermittelte voraussichtliche Gasdruck (paopred) mit dem für diesen Arbeitstakt ermittelten aktuellen Gasdruck (paoact) verglichen wird (76), und dass abhängig vom Ergebnis des Vergleichs ein Verfahren (func paopred), mittels dem der voraussichtliche Gasdruck (paopred) ermittelt wird, angepasst wird (78).

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Basis von Betriebsgrößen (BG) der Brennkraftmaschine (10) für einen künftigen Arbeitstakt ein voraussichtlicher Gasdruck (paopred) in dem Brennraum (14) ermittelt wird (72), dass, nachdem dieser Arbeitstakt durchgeführt worden ist, der für diesen Arbeitstakt ermittelte voraussichtliche Gasdruck (paopred) mit dem für diesen Arbeitstakt ermittelten aktuellen Gasdruck (paoact) verglichen wird (76), und dass abhängig vom Ergebnis des Vergleichs eine Information (INF) ausgegeben wird (80).

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der aktuelle Gasdruck (paoact) mittels folgender Formel ermittelt wird:

$$paoact = -\frac{C1}{2 * C2} + \sqrt{\left(\frac{C1}{2 * C2}\right)^2 + \frac{hact - C0}{C2}}$$

wobei C0, C1, und C2 Koeffizienten sind, welche wenigstens zum Teil von den Öffnungshub (hact) des Auslassventils (36) beeinflussenden Betriebsgrößen (tm, Toil, Poil, nmot, wao, pabg) der Brennkraftmaschine (10) abhängen, und wobei hact der ermittelte Öffnungshub ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der aktuelle Gasdruck (paoact) mittels folgender Formel ermittelt wird:

$$paoact = C1 \cdot hact - C0 + C2 \cdot (hact - C0)^2$$

5 wobei C0, C1, und C2 Koeffizienten sind, welche wenigstens zum Teil von den Öffnungshub (hact) des Auslassventils (36) beeinflussenden Betriebsgrößen (tm, Toil, Poil, nmot, wao, pabg) der Brennkraftmaschine (10) abhängen, und wobei hact der ermittelte Öffnungshub ist.

10 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Koeffizienten C0, C1 und C2 mittels eines Polynoms (func_C0, func_C1, func_C2) mit linearen und quadratischen Termen bestimmt wird (60, 62), in welche die den Öffnungshub (hact) 15 beeinflussenden Betriebsgrößen (tm, Toil, Poil, nmot, wao, pabg) der Brennkraftmaschine (10) einfließen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Koeffizienten C0, C1, und C2 mittels mindestens eines Kennfelds bestimmt 20 wird, in welches die Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine einfließen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Betriebsgrößen eine für 25 den Ventilhub maßgebliche Ansteuerzeit (tm) einer Steuereinrichtung (46) des Auslassventils (36), eine Drehzahl (nmot) einer Kurbelwelle (20), eine Winkelstellung (wao) der Kurbelwelle (20) zum Zeitpunkt des Öffnens des Auslassventils (36), einen mittleren Druck (pabg) des Abgases stromabwärts vom Auslassventil (36) zum Zeitpunkt 30 des Öffnens des Auslassventils (36), eine Temperatur (Toil) eines Hydraulikfluids, mit dem das Auslassventil (36) betätigt wird, einen Druck (Poil) dieses Hydraulikfluids,

und/oder eine Masse eines im Brennraum eingeschlossenen Arbeitsgases umfassen.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Öffnungshub (hact) des Auslassventils (36) mittels eines Hubsensors (40) erfasst wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Öffnungshub des Auslassventils aus der für den entsprechenden Schließvorgang erforderlichen Zeit ermittelt wird.

11. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche programmiert ist.

12. Elektrisches Speichermedium (40) für ein Steuer- und/oder Regelgerät (52) einer Brennkraftmaschine (10), dadurch gekennzeichnet, dass auf ihm ein Computerprogramm nach Anspruch 11 abgespeichert ist.

13. Steuer- und/oder Regelgerät (52) für eine Brennkraftmaschine (10), dadurch gekennzeichnet, dass es zur Anwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 programmiert ist.

5 25.03.2003

Robert Bosch GmbH
70442 Stuttgart

10

Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine

Zusammenfassung

15

Bei einer Brennkraftmaschine (10) strömt das Verbrennungsabgas nach Beendigung eines Arbeitstaktes über mindestens ein durch einen Aktor betätigtes Auslassventil (36) aus mindestens einem Brennraum (14) ab. Es wird ein Gasdruck bestimmt, welcher während des Arbeitstaktes im Brennraum (14) herrscht. Es wird vorgeschlagen, dass ein aktueller Öffnungshub des Auslassventils (36) ermittelt wird, dass aktuelle Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine

20

(10) ermittelt werden, welche diesen Öffnungshub beeinflussen, und dass auf der Basis des ermittelten aktuellen Öffnungshubs des Auslassventil (36) und der ermittelten aktuellen Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine (10) ein aktueller Gasdruck in dem Brennraum (14) zum Zeitpunkt des Öffnens des Auslassventils (36) wenigstens

25

30

näherungsweise ermittelt wird. Figur 1

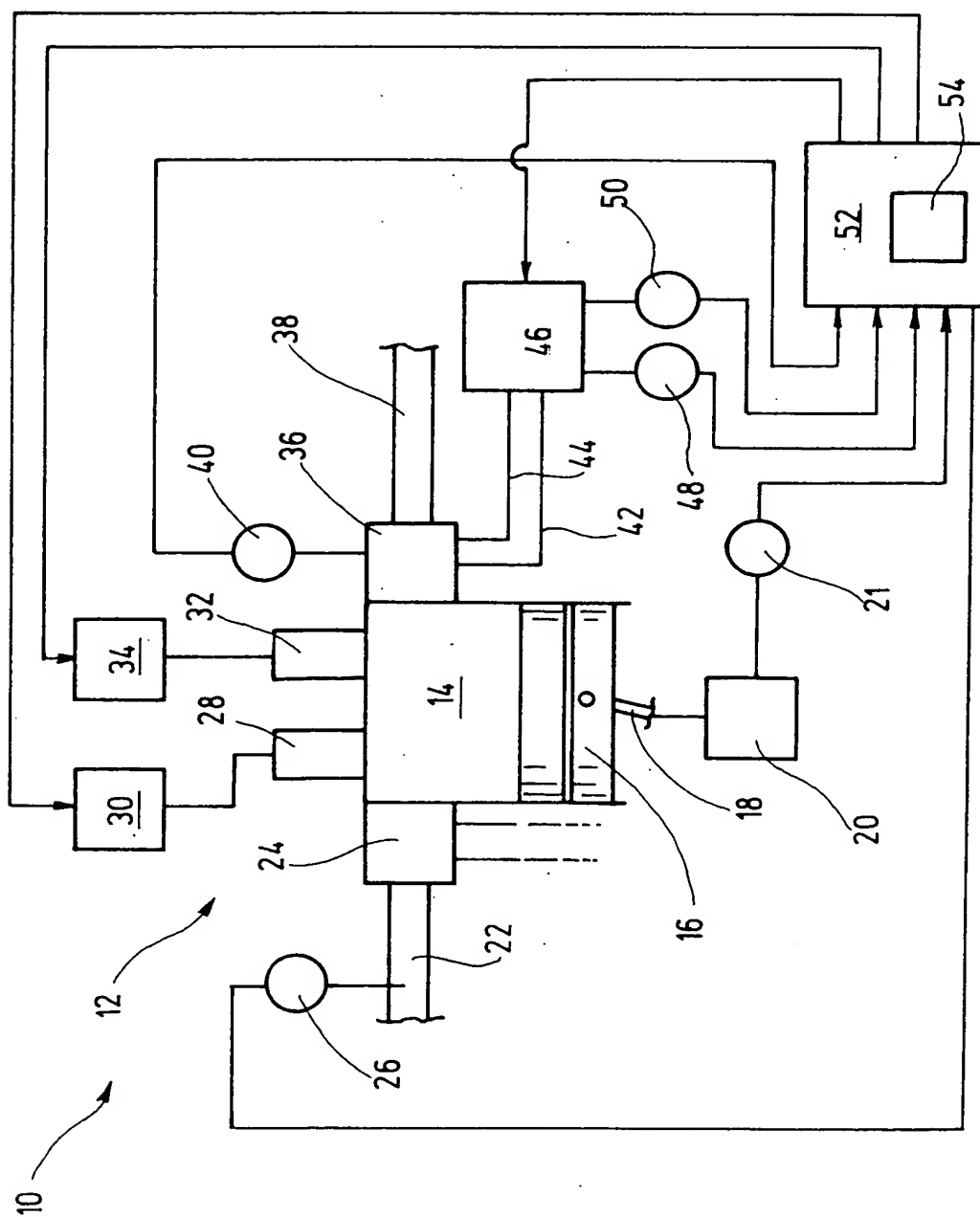


Fig.1

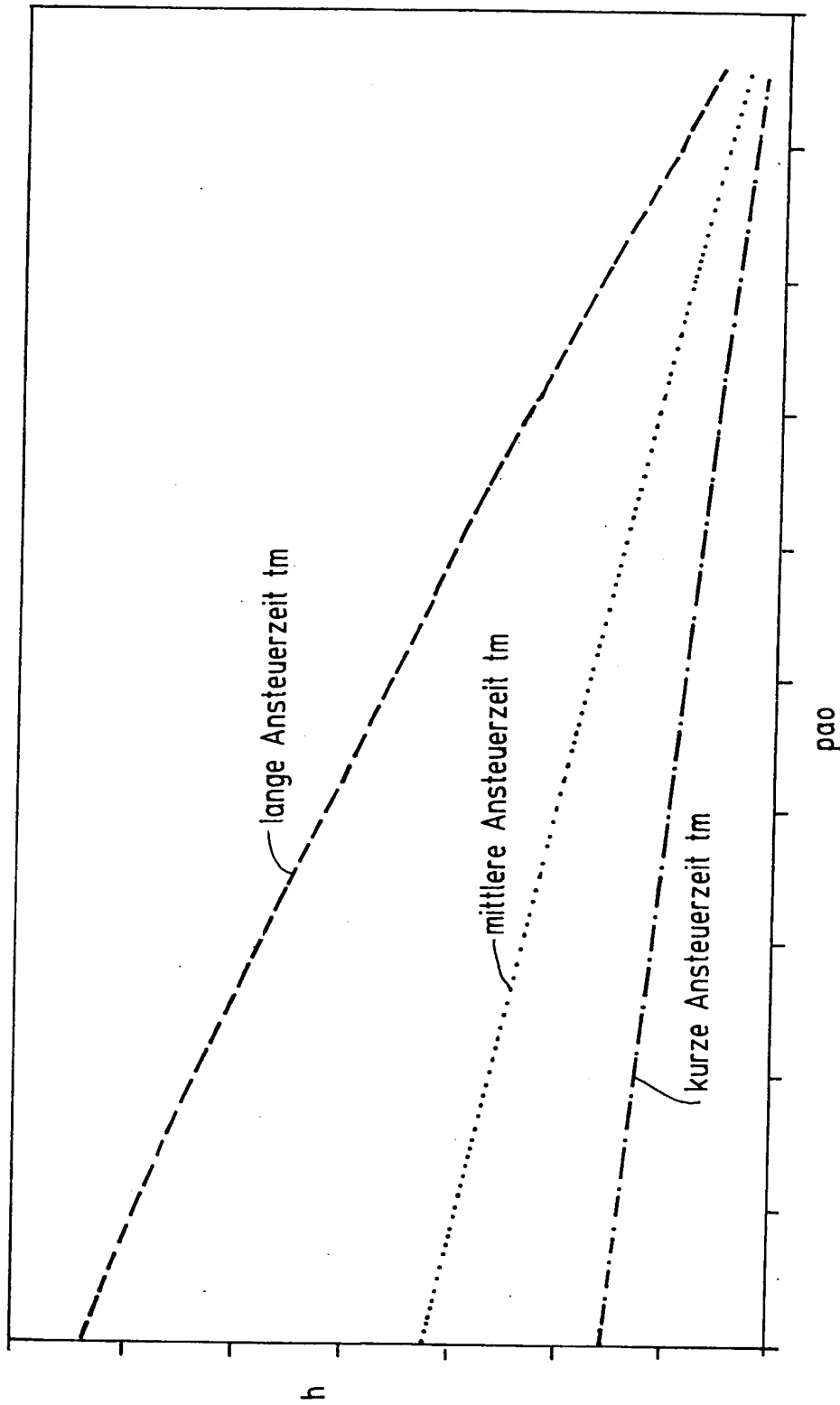


Fig.2

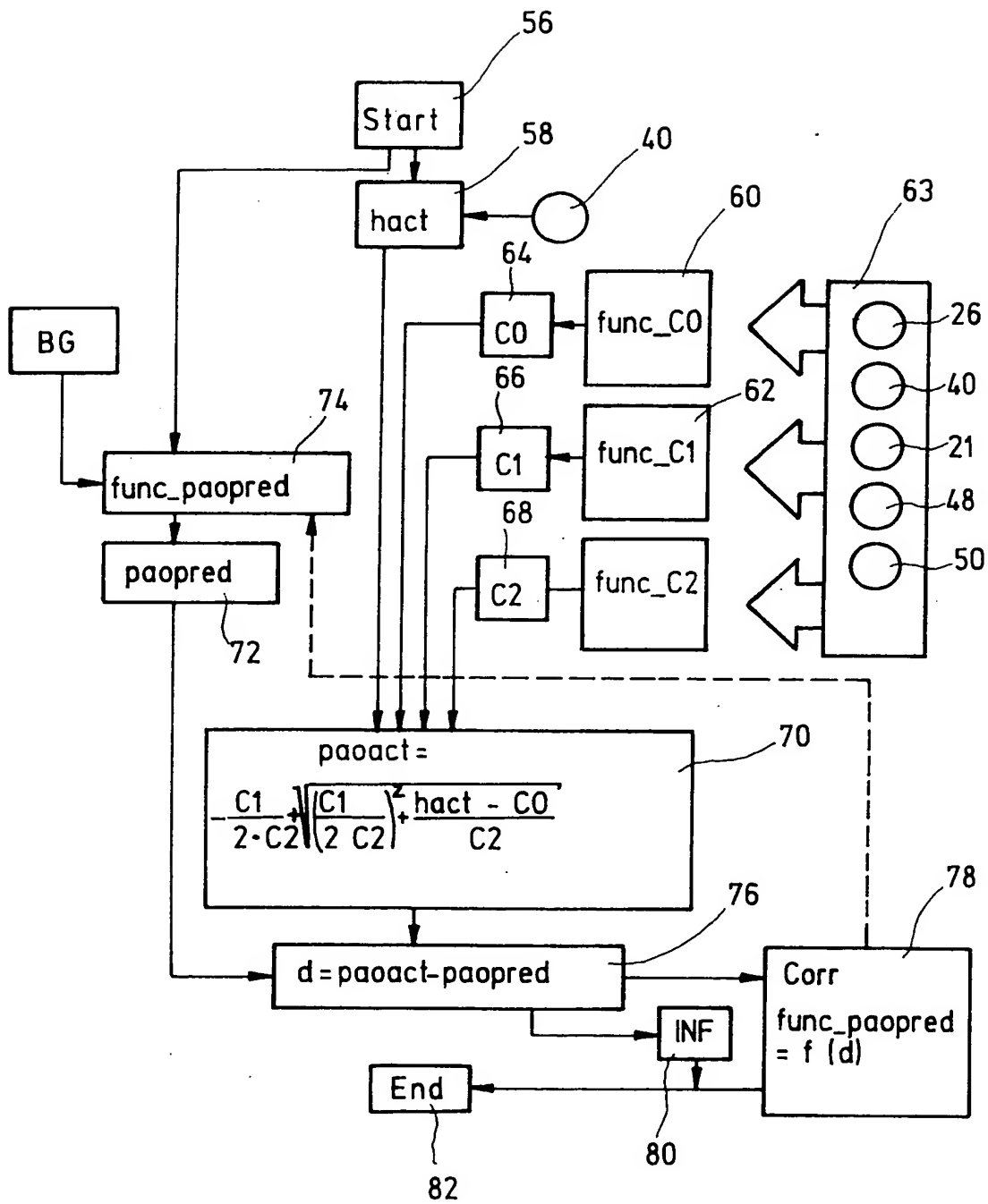


Fig.3